

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ФТОРФЛОГОПІТОВОГО РОЗПЛАВУ В ДУГОВІЙ ЕЛЕКТРОПЕЧІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МАСИВНИХ КОРОЗІЄСТІЙКИХ ВИРОБІВ ДЛЯ КОЛЬОРОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

В.М. Коржик^{1,2}, В.О. Щерецький^{2,3}, А.Г. Малявін³, Цзянлун І¹, А.О. Альошин⁴, А.А. Альошин⁴

¹China-Ukraine Institute of Welding, Guangdong Academy of Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Advanced Welding Technology. 510650, Guangzhou, China. E-mail: patonjournal@gwi.gd.cn

²ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

³Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України.

03142, м. Київ, бульв. Академіка Вернадського, 34/1. E-mail: metal@ptima.kiev.ua

⁴ТОВ «Зовнішньоекономічне представництво Китайсько-українського ІЕЗ ім. Є.О. Патона».

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: an_alex@i.ua

Розкрито проблеми проведення електродугової плавки неметалічних систем, таких як оксидні розплави, з метою синтезу та лиття фторфлогопітових виробів, що знаходять своє застосування в якості корозієстійких гідро- та газощільних виробів для роботи в умовах підвищених температур та агресивного впливу хлору, аміаку, металевих розплавів та ін. Показані переваги та недоліки плавильних агрегатів з водоохолоджуванним тиглем та футерованим графітом при приготуванні фторсилікатних розплавів. Досліджено зв'язок між параметрами плавки і особливостями плавильного агрегату та їх вплив на структуру і фазовий склад фторфлогопітового литва. Встановлено раціональні температурні режими одержання фторфлогопітового розплаву, що мінімізують енерговитрати і втрати летких компонентів з розплаву. Показано ефективність використання технологічних проб для експрес аналізу якості фторфлогопітового литва, що дозволяє по вигляду зламу оперативного регулювати шихтовий склад. Таким чином можна безпосередньо під час плавки контролювати якість розплаву і використовувати вторинну сировину в якості шихтових матеріалів в кількості до 50...60 %. Запропоновано технологічні та конструкційні рішення, що дозволяють одержувати кількість фторфлогопітового розплаву достатньою для одержання масивних виливків більше 150 кг. Бібліогр. 5, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: електродугова плавка; фторфлогопіт; кам'яне литво; експрес аналіз; технологічні проби

Вступ. Фторфлогопіт, який отримують кристалізацією розплаву, має склад природнього флогопіту із введенням фтору (відповідає формулі $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})\text{F}_2$), характеризується унікальним поєднанням фізико-хімічних властивостей, чого не мають вогнетривкі та корозійностійкі матеріали, які застосовуються в металургії кольорових металів і хімічній промисловості в процесах хлорування та відновлення. Фторфлогопітовий матеріал характеризується відсутністю поліморфних перетворень і може оброблятися на металообробному устаткуванні, справжня щільність литого фторфлогопіта складає 2750 кг/м^3 , межа міцності на стиск — $69,90 \text{ МПа}$, на згин — $10,25 \text{ МПа}$, ТКЛР ($0...950 \text{ }^\circ\text{C}$) — $7,6...8,2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, питомий об'ємний електроопір ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) — $2 \cdot 10^{10}...4 \cdot 10^{11} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, при цьому його діалектичні властивості зберігаються як при підвищених, так і при низьких температурах до рівня криогенних [1]. Суттєвою перевагою литих виробів від класичних (спечених) вогнетривких, що одержують шляхом спікання оксид-

них компонентів, є їх щільна лита структура без відкритої пористості. При цьому фторфлогопітове литво в якості вогнетривів може працювати при температурах $1000...1200 \text{ }^\circ\text{C}$ в умовах агресивних середовищ тривалий час та є стійким до термоударів. Що особливо важливо для металургійних та хімічних агрегатів, які працюють в умовах постійного контакту з агресивними елементами, такими як хлор в рідкому, паро- або газоподібному станах. В процесі тривалої експлуатації металургійних хлораторів та електролізерів агресивне середовище просочує спечені вогнетриви руйнуючі зв'язуючу складову, що врешті призводить до руйнування їх цілісності. Тому при використанні каменелитих фторфлогопітових виробів в промисловості необхідно створювати нові установки, підвищувати термін служби та скорочувати матеріальні і експлуатаційні витрати на утримання і ремонт обладнання, що дає суттєвий економічний ефект [2]. Однак розробка технології лиття масивних виробів із таких складних неметалевих оксид-

В.М. Коржик — <https://orcid.org/0000-0001-9106-8593>, В.О. Щерецький — <https://orcid.org/0000-0002-8561-4444>,

А.Г. Малявін — <https://orcid.org/0000-0003-0004-2393>, Цзянлун І — <https://orcid.org/0000-0002-2018-7138>,

А.О. Альошин — <https://orcid.org/0000-0001-9696-6800>, А.А. Альошин — <https://orcid.org/0000-0001-9222-1078>

них систем вимагає врахування особливостей, що витікають зі складу мінеральних шихтових компонентів, та властивостей оксидних розплавів. При плавці фторфлогопітового розплаву з мінеральних шихтових матеріалів формування розплаву основного мінералу (фторфлогопіту) відбувається безпосередньо в печі. Мінеральні складові містять легкі компоненти (фтор), що можуть виходити з розплаву у вигляді газоподібних сполук. Крім того, в'язкість алюмосилікатного розплаву при формуванні фторсилікатних сполук сильно змінюється, що може призводити до суттєвих локальних перегрівів розплаву [1]. Тому плавка мінеральних шихтових компонентів та одержання фторфлогопітового розплаву є більш складним процесом до умов нагрівання та режимів плавки порівняно до плавки металевих сплавів.

За даними газового аналізу найбільш легким компонентом розплаву є фтористий водень (HF). До менш легких належать луки (K, Na), підвищене випаровування яких у вигляді фторидів пов'язано з відносно високою їх рухливістю у розплаві [2]. Леткість окремих компонентів розплаву (F, K) приводить до порушення хімічної однорідності розплаву, розшаруванню і виділенню високотемпературних кристалічних мінералів (фаз).

Раціональний підхід до синтезу фторфлогопітового матеріалу, який має володіти певним комплексом властивостей, може бути здійснений лише на основі досліджень залежностей склад–структура–властивості, а також вивчення впливу параметрів плавки на процес одержання фторфлогопітового розплаву.

Технологічні властивості фторфлогопітового розплаву в період плавки перед заливанням в ливарні форми і в процесі переходу з рідкого стану в твердий мають важливе значення для одержання високоякісних виливків, так як процес формування структури, утворення усадкових і газових раковин у виливках починається ще в рідкому стані, а закінчується в період кристалізації і тверднення розплаву.

Методика досліджень та результати. Для дослідження особливостей електродугової плавки фторфлогопітового матеріалу з мінеральних шихтових компонентів проводили дослідні та промислово-дослідні плавки в умовах відновлюваної атмосфери в флюсоплавильних електрошлакових печах [3]. Конструктивно електродугові печі, в яких проводились плавки, складаються з водоохолоджуваного металевого або футерованого графітом тиглів, електродотримача і колони з електро-механічним приводом для пересування електрода. Рухомий графітовий електрод включений в елек-

тричний ланцюг силового трансформатора послідовно за схемою електрод–подина.

Вибір плавильного агрегату (електродугової печі) був визначений особливостями розробленої технології виготовлення виливків з фторфлогопітового литва, яка передбачає періодичне одержання певної кількості фторфлогопітового розплаву з заданим хімічним складом, температурою та в'язкістю.

Основні параметри режиму роботи плавильних печей — температура і час — знаходяться в тісній залежності одне від одного. Чим вища температура плавки, тим менше часу необхідно для приготування фторфлогопітового розплаву. З іншого боку, підвищення температури лімітується легкістю компонентів шихти, що потребує розробки оптимального температурного режиму приготування розплаву. Цей фактор суттєво відображається на раціональному виборі необхідного температурного режиму плавки, при якому одержання розплаву високої якості поєднується з можливістю приготування його за заданий час.

Дослідні плавки проводили на дослідно-виробничій ділянці ФТІМС НАН України в флюсоплавильній печі, створеній в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, з однофазним трансформатором типу ТШС-3000-1 в якості джерела живлення. Характеристики печі (піч № 1) приведено нижче, а схему — на рис. 1.

Характеристики флюсоплавильної печі (піч № 1)

| | |
|--|------|
| Номінальна потужність, кВт | 138 |
| Робоча напруга, В | 45 |
| Діаметр рухомого електрода, мм | 150 |
| Об'єм водоохолоджуваного тигля, м ³ : | |
| повного | 0,07 |
| робочого | 0,06 |

Піч № 2 було створено на основі печі № 1 за проектом ПКО «ЗТМК» на базі печі ДСП-0,5 з графітовим футеруванням печі (рис. 2). Вдосконалений проект плавильної печі призначений для промислової плавки і являє собою електродугову однофазну піч з графітовою струмопровідною подиною та графітовою футерівкою. Технічні характеристики електродугової печі для промислового отримання фторфлогопітового розплаву наступні:

| | |
|---|------|
| номінальна потужність, кВт: | |
| мінімальна | 160 |
| максимальна | 3000 |
| робоча напруга, В | 100 |
| діаметр рухомого електрода, мм | 150 |
| об'єм графітового тигля, м ³ : | |
| повного | 0,2 |
| робочого | 0,17 |

При одержанні фторфлогопітового розплаву відбуваються як фізичні процеси (нагрів шихти, плавлення її компонентів, розчинення периклазу

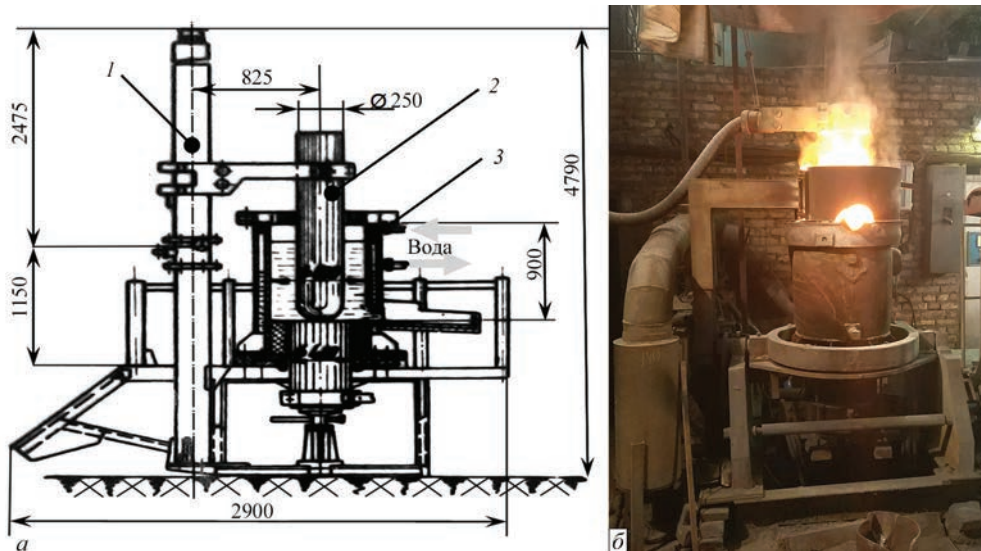


Рис. 1. Схема (а) та зовнішній вигляд (б) флюсоплавильної печі № 1: 1 — колона; 2 — електрод; 3 — водоохолоджуваний тигель

та інших складових в утвореній рідині, випаровування фторидів), так і хімічні реакції розпаду кремнефтористого калію, взаємодії різних компонентів і утворення силікатів. У відновлюваних умовах плавки (в присутності графітових електродів і подини) відбувається відновлення домішкових речовин (оксидів заліза та марганцю), що містяться в шихтових матеріалах.

Процес одержання фторфлогопітового розплаву вивчали при проведенні серії плавок (маса розплаву складала приблизно 70 кг для кожної). Аналіз результатів плавок на ділянці ФТМС НАН України в металевому тиглі показав, що їх температурний режим не завжди був задовільним, так як в процесі плавки частина розплаву тверднула, кристалізуючись на подині та боковій поверхні тигля. Затверділий шар фторфлогопітового матеріалу, товщина якого при різних плавках складала від 10...15 до 100...120 мм, як діелектрик порушував електричний, а відповідно і тепловий режими печі. Про нестабільність плавок (піч № 1) свідчить також відносно широкий інтервал їх тривалості. Під час плавки в металевому тиглі струм мав значення в межах від 800 до 1400 А, а їх тривалість складала від 180 до 400 хв. Аналіз енергоспоживання при проведенні початкових плавок показує, що в їх першій половині електричний режим печі нестійкий, потужність змінюється в широких межах (від 106 до 170 кВт). Завантаження холодної шихти в цей час призводить до різкого падіння струму, а відповідно і потужності. Так, завантаження шихти і бою при рівні розплаву в печі від 100 до 150 мм знижує потужність на 30...35 кВт. В другій половині плавки, коли масова частка розплаву складає більше половини ванни (від 50 до 60 % від загальної ваги плавки), тепловий режим

стабілізується, а завантаження шихти і бою не порушують електричний режим плавки.

В процесі одержання фторфлогопітового розплаву в печі № 2 тривалість початкових плавок складала від 60 до 63 хв, наступних — від 26 до 32 хв. Аналіз енерговитрат наступних плавок показав, що їх енергетичний режим на початку більш стабільний порівняно до першої плавки. Потужність протягом плавки змінювалася від 110 до 215 кВт, наступні плавки проходили більш інтенсивно, ніж початкова.

Використання графітової футерівки призводить до зміни характеру процесу плавки і скороченню її тривалості. Використання графітової футерівки сприяло збільшенню показників струму першої плавки від 1100 до 1900 А, а тривалість скоротилася до 120...150 хв. Про стабілізацію режиму плавки свідчить відсутність гарнісажу на боковій поверхні тиглю.

Стабілізацію та інтенсифікацію процесу при плавці в печі № 2 можна пояснити тим, що використання графітової футерівки змінює електричний та тепловий режими плавильної печі. В металевому тиглі на водоохолоджуваних стінках із розплаву утворюється неелектропровідний гарнісаж і електричний струм переважно проходить між електродами та графітовою подиною. В печі із графітовою футерівкою на бічній поверхні гарнісаж не утворюється, а футерівка розігрівається як за рахунок тепла розплаву, так і за рахунок струму. Відносно велика, у порівнянні з площею подини, струмопровідна поверхня стінок печі і відсутність на ній гарнісажу призводить до того, що основна частина струму протікає між електродами і боковою поверхнею тигля [4]. Це підтверджується також тим, що підвищення рівня розплаву

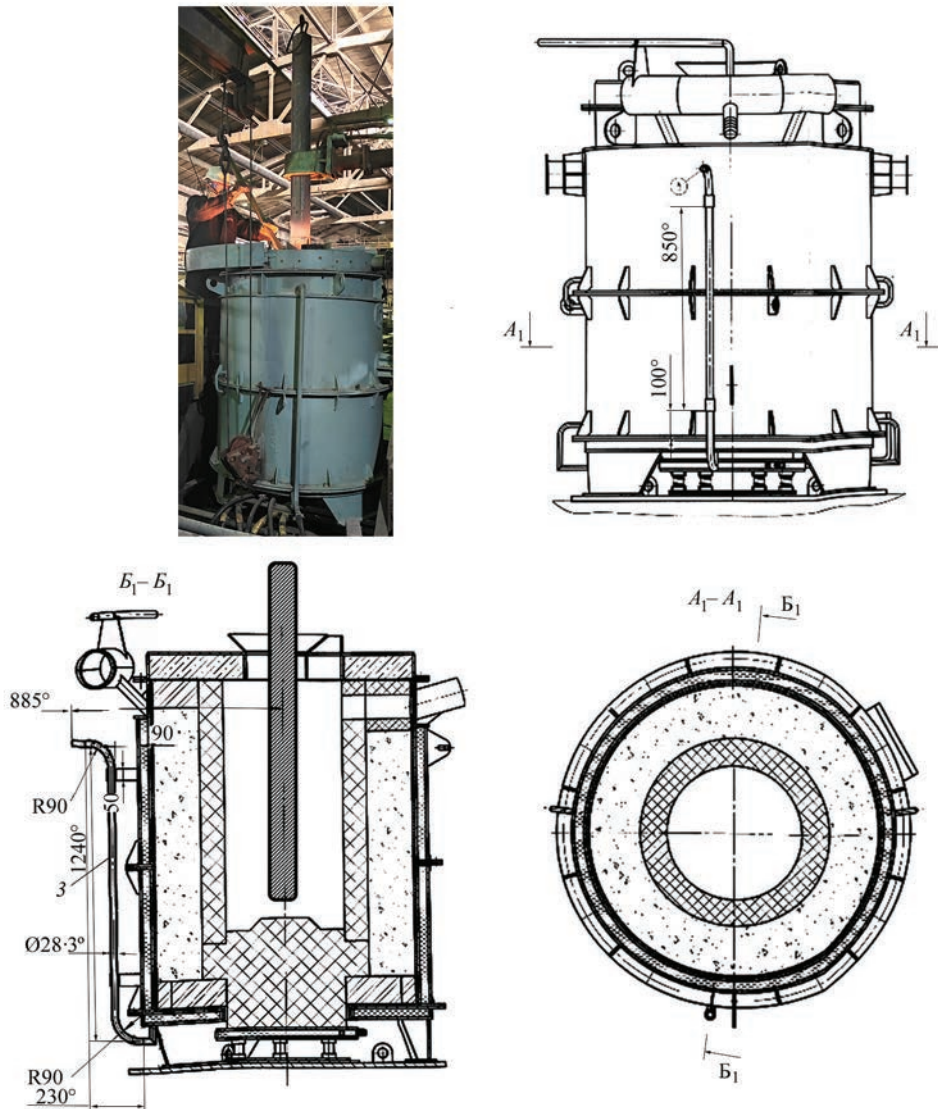


Рис. 2. Зовнішній вигляд та схема електродугової печі № 2 для одержання фторфлогопітового розплаву

при постійному зануренні електрода призводить до збільшення струмового навантаження, а це, в свою чергу, забезпечує необхідний температурний рівень процесу плавки і сприяє її інтенсифікації.

Стабілізація і скорочення тривалості плавки дозволила організувати процес плавлення в циклічному режимі. При тій же кількості одержуваного розплаву тривалість наступних плавки складала від 60 до 70 хв. Це пояснюється тим, що в початковий період наступних плавки виключається електродуговий режим роботи за рахунок використання стартової кількості розплаву попередньої плавки, а також акумуляцією тепла футерівкою і подиною печі. Внаслідок цього затрати електроенергії в наступних плавках скорочуються і вона затрачується безпосередньо на процес плавлення шихти, який в цьому випадку йде при підвищених струмових навантаженнях (від 1600 до 2000 А).

Проте складність керування технологічним режимом плавки в існуючих плавильних агрега-

тах призводить до неодноразового перегріву і охолодження розплаву в процесі його приготування (наприклад, при завантаженні чергової порції шихти), в результаті чого з шихти одного і того ж складу можуть бути одержані матеріали, що відрізняються за будовою і фазовим складом. Температура розплаву, що заміряли в печі перед випуском, при проведенні плавки в металевому тиглі складала від 1350 до 1550 °С, а з використанням графітової футерівки — від 1550 до 1620 °С.

Підвищення температури процесу плавки призводить, з одного боку, до зменшення тривалості процесу приготування розплаву, а з іншого, до збільшення кількості домішкових фаз. При вивченні процесу одержання фторфлогопітового розплаву досліджували вплив температурного режиму і тривалість плавки на будову литого матеріалу (таблиця). Оптимальним температурним інтервалом приготування фторфлогопітового розплаву є 1400...1500 °С, при цьому фазовий склад матеріа-

Параметри плавки і фазовий склад синтезованих матеріалів, об. %

| Температура розплаву, °С | Тривалість плавки, хв | Фторфлогопіт | Норбергіт | Енстатит | Шпінель | α-кристоболіт | Склофаза |
|--------------------------|-----------------------|--------------|-----------|----------|---------|---------------|----------|
| 1400...1450 | 360 | 80...90 | 5...10 | — | — | — | 5...10 |
| | 420 | →— | →— | — | — | — | →— |
| 1450...1500 | 240 | →— | →— | — | — | — | →— |
| | 300 | →— | →— | 3...5 | — | — | →— |
| 1500...1600 | 120 | 75...85 | →— | 5 | — | — | →— |
| | 180 | →— | 3...5 | 5...10 | — | — | →— |
| >1600 | 120 | 70...80 | 5 | 5 | 3...5 | — | 10...15 |
| | 150 | 60...75 | — | 5...10 | 5 | 5...10 | →— |

лу представлений фторфлогопітом (80...90 об. %) і домішками: норбергітом (5...10 об. %) та склофазою (5...10 об. %).

Зростання температури плавки від 1500 до 1600 °С значно зменшує її тривалість (від 120 до 180 хв), при цьому процес утворення фторфлогопіту суттєво не порушується, хоча його кількість незначно зменшується (від 75 до 85 об. %) і з'являється енстатит в кількості від 5 до 10 об. %. Подальше підвищення температури плавки (вище 1600 °С) незначно знижує її тривалість (до 150 хв), але приводить до помітного порушення процесу синтезу: кількість фторфлогопіту знижується (від 60 до 80 об. %), збільшується кількість склофази (від 10 до 15 об. %) і домішкових мінералів (15...25 об. %), серед яких спостерігаються алюомагнезійна шпінель і α-кристоболіт. Це свідчить про суттєву зміну хімічного складу розплаву, обумовлену значними втратами фтору — найбільш леткого компоненту розплаву фторфлогопіту. Втрати фтору, а також утворення таких домішкових мінералів, як шпінель та α-кристоболіт, призводять до утворення дуже дрібнокристалічного матеріалу, макроструктура якого нагадує фарфороподібну, а величина кристалів фторфлогопіту складає 0,3...0,5 мм.

Для стабільного отримання розплаву з необхідними будовою та фазовим складом треба, щоб у розплаві був оптимальний вміст фтору. Керувати процесом плавки, регулюючи вміст фтору у розплаві в негерметичному електродуговому плавильному агрегаті, проблематично. Експрес методи контролю вмісту фтору у розплаві нині відсутні [5]. Єдиним способом, що дозволяє оперативно робити висновок про вміст фтору у розплаві у процесі плавки, є візуальний метод контролю, який оснований на визначенні будови матеріалу у зламі технологічної проби (рис. 3, 4). Критеріями оцінки проби являються наступні характеристики зламу матеріалу: колір, блиск, зональність, середній розмір кристалів фторфлогопіту в центральній зоні проби. У процесі дослідження визначили, що характеристики

будови виливок та технологічної проби ідентичні та не відрізняються одна від одної.

При оптимальному співвідношенні основних компонентів у розплаві злам матеріалу проби має наступну характеристику: рівномірну кристалічну будову з розміром кристалів фторфлогопіту 0,5...3,0 мм, колір — від світло- до темно-сірого, блиск — скляний, а на площинах спайності — сріблястий (рис. 4).

На основі вивчених особливостей приготування фторфлогопітового розплаву процес плавки умовно можна розділити на 2 періоди: плавлення шихти і утворення заданого об'єму розплаву; доводки і корегування складу і температури розплаву.

Таким чином, дослідження процесу одержання фторфлогопітового розплаву в дугових електропечах показало, що інтенсивність проведення плавки можна регулювати за допомогою використання графітової футерівки. Ефективність і економічність процесу приготування розплаву підвищуються при проведенні циклічних плавки, а також зі збільшенням потужності використаного трансформатора і місткості плавильного агрегату, так як при цьому зростає питома продуктивність печі.

На протязі першого періоду плавки проводили наплавлення 70...80 % необхідного об'єму розплаву, потім відбирали технологічну пробу. По характеру злому матеріалу визначали якість розплаву і проводили, в разі необхідності, корегуван-

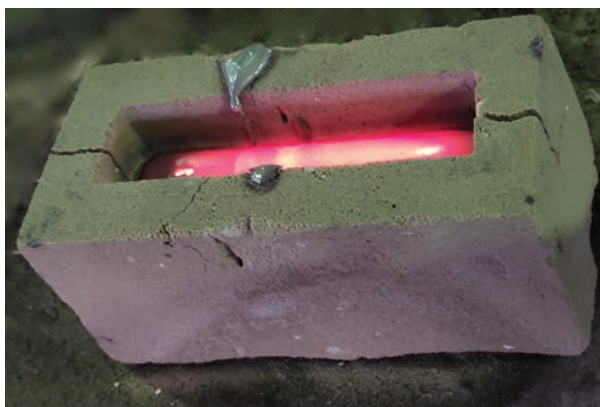


Рис. 3. Вигляд залитої технологічної проби в піщано-глиняній ливарній формі

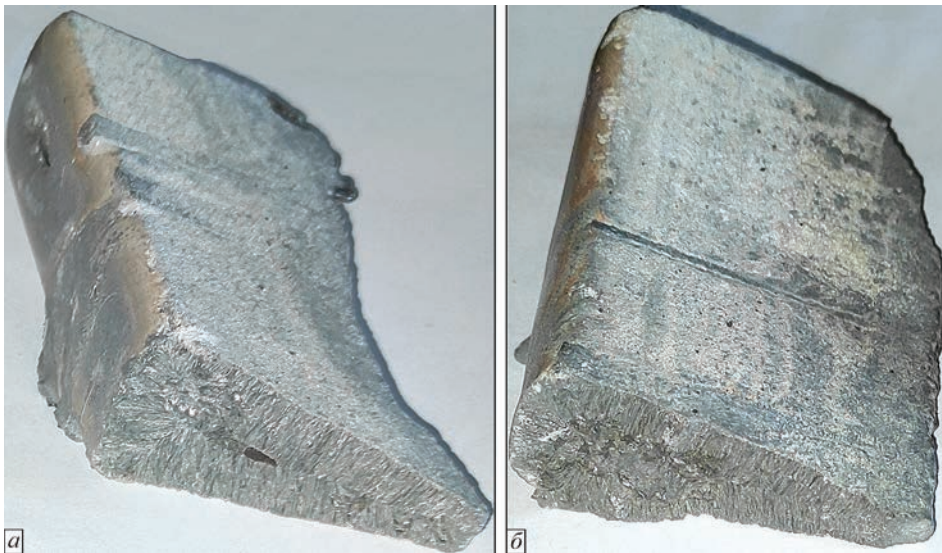


Рис. 4. Вигляд зламу технологічної проби до (а) та після (б) коригування складу фторсилікатного розплаву



Рис. 5. Одержання масивних фасонних фторфлогопітових виливків: а — піщано-глиняна форма; б — фторфлогопітовий виливок для хлоратору «камінь льотки» загальною вагою 150 кг

ня його складу. Перевірку корегування проводили по контрольним пробам, які відбирали після проплавлення шихтової добавки.

Таким чином, проведене регулювання складу розплаву у період плавки дозволило перейти від способу приготування по розрахованому складу шихти до контрольованого методу з періодичним відбором технологічних проб у процесі плавки і корегуванням складу розплаву з метою одержання матеріалу зі стабільними будовою і властивостями.

Застосування вдосконаленої плавильної печі та оптимізація режимів плавки дозволили виготовляти масивні (більше 150 кг) корозієстійкі виробу для металургійних агрегатів ТОВ «ЗТМК» (рис. 5). При цьому собівартість одержання 1 тони розплаву для такого литва склала (в розрахунку

на вартість, грн: матеріалів — 46800, електроенергії — 9072, заробітної плати — 4914 на жовтень 2021 р.) 66 686,00 грн.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень вивчено процес отримання фторфлогопітового розплаву в електродугових плавильних печах, створено метод експрес аналізу якості фторфлогопітового розплаву по зламу технологічних проб, а також спосіб корегування складу розплаву шихтою та відходами фторфлогопітового литва.

2. Процес плавлення фторфлогопітового розплаву потребує поступового розчинення партій мінеральної шихти в наплавленому розплаві печі, що призводить до підвищеної витрати електроенергії.

нергії порівняно з плавкою металевих розплавів в дугових печах. Завдяки застосуванню нового плавильного агрегату з графітовим футеруванням, а також оптимізації режимів плавки собівартість одержання фторфлогопітового розплаву складала 66686,00 грн за тонну. При тому частку електроенергії в собівартості вдалось знизити з 28 до 13 % і в абсолютному вираженні вона складала 2700 кВт·ч/т.

3. Показано, що оптимальна температура одержання фторфлогопітового розплаву лежить в межах 1400...1500 °С, при цьому обладнання та режим плавки повинні запобігати локальним перегрівам розплаву, що ведуть до втрати летких сполук фтору. Підвищення температури процесу призводить до зменшення часу плавки, а з іншого боку до збільшення кількості небажаних домішкових мінералів та склофаз. Результатом значної втрати фтору розплавом стає формування небажаних фаз шпінелі та α -кристобаліту, які призводять до утворення фарфороподібної макроструктури матеріалу, що негативно впливає на його механічні та функціональні властивості.

4. Розроблена технологія методу оперативного контролю якості фторфлогопітового литва за злами технологічної проби дозволяє використовувати до 50...60 % вторинного фторфлогопітового матеріалу з відходів литва та відпрацьованих виробів, що підвищує екологічність виробництва та дозволяє економити шихтові матеріали.

5. В цілому, встановлені особливості одержання фторфлогопітового розплаву разом з раціональними режимами плавки та конструкції плавильних агрегатів в поєднанні з запропонованим методом експрес аналізу макроструктури литого кам'яного литва, дозволяють наплавляти в умовах електродугової плавки необхідну кількість розплаву для

промислового литва масивних (більше 150 кг) корозієстійких виробів для металургійних агрегатів.

Робота виконувалась при підтримці проектів: The National Key Research and Development Program of China — in the framework of the strategy «One Belt — One Road» (grant number 2020YFE0205300);

International Science and Technology Cooperation Project of Guangzhou Economic and Technological Development Zone(2019GH15);

GDAS' Project of Science and Technology Development (2021GDASYL-20210302006;

Project of the Guangzhou Economic and Technological Development Zone (2019GH19).

Список літератури

1. Лейзерзон М.С. (1962) *Синтетическая слюда*. Москва, Госэнергоиздат.
2. Белякова Ю.А., Голенко В.П., Горбунов Л.В. и др. (1987) *Синтез минералов: Т. 2*. Москва, Недра.
3. Патон Б.Е., Забарилло О.С., Убель В.Г. (1956) Применение водоохлаждаемых металлических кокилей для плавки флюса в электропечах. *Автоматическая сварка*, 1, 65–69.
4. Платонов Г.Ф. (1965) *Параметры и электрические режимы металлургических электродных печей*. Москва, Энергия.
5. Николаев Н.С., Суворова С.Н. Гурович Е.И. и др. (1970) *Аналитическая химия фтора*. Москва, Наука.

References

1. Lejzerzon, M.S. (1962) *Synthetic mica*. Moscow, Gosenergoizdat [in Russian].
2. Belyakova, Yu.A., Golenko, V.P., Gorbunov, L.V. et al. (1987) *Synthesis of minerals*. Vol. 2. Moscow, Nedra [in Russian].
3. Paton, B.E., Zabarilo, O.S., Ubel, V.G. (1956) Application of water-cooled metallic chill molds for flux melting in electric furnaces. *Avtomatich. Svarka*, 1, 65–69 [in Russian].
4. Platonov, G.F. (1965) *Parameters and electric modes of metallurgical electrode furnaces*. Moscow, Energiya [in Russian].
5. Nikolaev, N.S., Suvorova, S.N., Gurovich, E.I. et al. (1970) *Analytical chemistry of fluorine*. Moscow, Nauka [in Russian].

EXPLORATION OF THE OBTAINING PROCESS OF FLUOROPHLOGOPITE MELT BY ELECTRIC ARC MELTING FOR THE PRODUCTION OF MASSIVE CAST CORROSION-RESISTANT PRODUCTS FOR NON-FERROUS METALLURGY

V.M. Korzhyk^{1,2}, V.O. Shcheretskyi^{2,3}, A.G. Maliavin³, Yi Jianglong¹, A.O. Alosyn⁴, A.A. Alosyn⁴

¹China-Ukraine Institute of Welding, Guangdong Academy of Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Advanced Welding Technology. Guangzhou, 510650, China. E-mail: patonjournal@gwi.gd.cn

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

³Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine.

34/1 Vernadskyi Blvd., 03142, Kyiv, Ukraine. E-mail: metal@optima.kiev.ua

⁴«Foreign Trade office of the Chinese-Ukrainian E.O. Paton Institute of Welding» Ltd.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: an_alex@i.ua

The work reveals the issues of electric arc melting of non-metallic systems, such as oxide melts, for synthesis and casting of fluorophlogopite products, which are used as corrosion-resistant hydro- and gas-tight products for conditions of elevated temperatures and aggressive effects of chlorine, ammonia, metal melts, etc. The advantages and disadvantages of arc melting furnaces with a water-cooled crucible and graphite lining in the preparation of fluorosilicate melts are

revealed. The effect of melting parameters and furnace design on the structure and phase composition of fluorophlogopite casting was investigated. The rational temperature regimes for obtaining fluorophlogopite melt were developed to minimize energy consumption and loss of volatile components from the melt. The effectiveness of technological sample application for express analysis of the fluorophlogopite casting quality is shown, which allows quickly correcting the charge composition by analyzing the technological sample fracture. This also allows using recycled material as raw material in the amounts of up to 50...60 %, in addition to mineral charge components. The proposed technological and design solutions allow obtaining fluorophlogopite melt in the amount sufficient for the production of massive castings over 150 kg. Ref. 5, Tabl. 1, Fig. 5.

Key words: electric arc melting; fluorophlogopite; stone casting; express analysis; technological sample

Надійшла до редакції 28.02.2022

ВИСТАВКА ОБОРОННОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ MSPO-2022

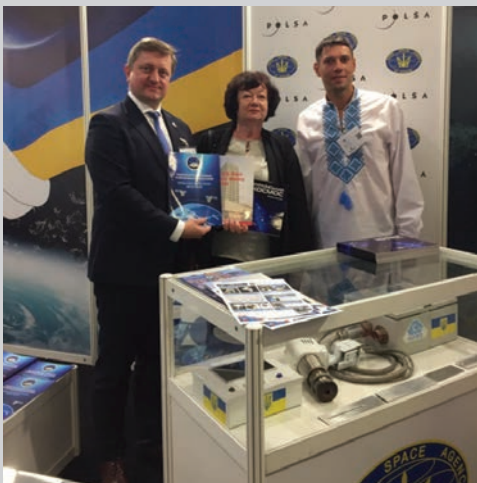
З 4 по 10 вересня 2022 р. в м. Кельце (Польща) була проведена щорічна XXX Міжнародна виставка оборонної промисловості MSPO-2022 (Międzynarodowy Salon Przemysłu Obronnego). Цього року виставка зібрала 613 експонентів із 33 країн світу, серед яких 312 польських компаній. Заход відвідало 60 делегацій із 39 країн світу, у тому числі вісім на міністерському рівні. 25000 гостей з усього світу відвідали MSPO 2022, ще 10500 відвідали День відкритих дверей. Окрім почесного гостя – президента Анджея Дуди, захід відвідали також прем'єр-міністр Матеуш Моравецький, віце-прем'єр-міністр національної оборони Маріуш Блашак та голова Бюро національної безпеки Павел Солох. Участь у заході взяв також керівний склад Війська Польського.

Турецьку делегацію, яка цього року була одним з основних інвесторів виставки, очолив міністр національної оборони Хулусі Акар. Серед учасників з Туреччини 30 компаній. Серед них компанія Baykar з висотними безпілотними літальними апаратами Bayraktar далекої дії.

Американська компанія Lockheed Martin представила реактивні системи залпового вогню Хаймерс (M142 HIMARS), переносні протитанкові ракетні комплекси Джавелін (FGM-148 Javelin) та відомий літак F-35 LIGHTNING II.

Крім того, зі своєю продукцією прибули такі компанії, як Hensoldt Roketsan, Boeing, Rotem та інші. Warszawska Politechnika, яка проводить величезну кількість наукових досліджень для оборонної промисловості Польщі, представила результати своїх досліджень.

Польська космічна агенція POLSA виділила Державному космічному агентству України (ДКАУ) безкоштовно площі для розміщення експонатів. Так, за підтримки Польського космічного агентства в рамках MSPO-2022, організовано експозицію ДКАУ, на якій представлено зразки продукції 5 українських компаній космічної галузі, в тому числі експозицію Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона.



На стенді ІЕЗ: співробітники ІЕЗ з послом України в Польщі паном Василем Зваричем

Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона.

Відділ «Космічних технологій» ІЕЗ підготував і представив макети обладнання для зварювання у відкритому космосі та інформаційні матеріали щодо перспективних робіт ІЕЗ в цьому напрямку. Крім того, були представлені рекламні буклети ІЕЗ та журнал «The Paton Welding Journal».

Під час виставки відбулися також зустрічі з представниками багатьох інших підприємств, в тому числі з польською компанією, яка займається випуском танків. Їх цікавлять питання зварювання лопаток з титанових сплавів, що використовуються в танкових котлах. Компанії, яких цікавлять сплави для оборонної промисловості, звернули увагу на зразки інтерметалідного сплаву системи титан-алюміній.

Д.т.н. Наталія Піскун